

# 倾斜摄影测量中像控点布设方案研究与分析

赵同山

巴音郭楞蒙古自治州水利水电勘测设计有限责任公司, 新疆 库尔勒

收稿日期: 2024年3月13日; 录用日期: 2024年4月17日; 发布日期: 2024年4月23日

## 摘要

经济社会不断发展, 各种测绘新设备、新技术不断涌现, 以无人机倾斜摄影测量技术为代表的测绘新技术已经被广泛应用于各行业中。像控点作为无人机倾斜摄影测量技术中极为重要的位置参数, 直接影响成果的几何精度, 因此, 开展像控点布设的方法研究尤为重要。文中以某城市实景三维建设项目为试验, 综合设计了9中不同像控点方案, 并通过像控点布设样式与数量对三维模型精度的影像进行深入研究。试验结果证明了文中设计的9种像控点布设方案均能满足相关规范要求, 同时也证明了像控点数量的增加, 三维模型精度趋于稳定, 但是当像控点增加到一定数量时, 实景模型成果精度提升不再明显。

## 关键词

无人机, 倾斜摄影测量, 像控点布设, 实景三维模型, 精度分析

# Research and Analysis on the Layout Scheme of Image Control Points in Oblique Photogrammetry

Tongshan Zhao

Bayingolin Mongolian Autonomous Prefecture Water Resources and Hydropower Survey and Design Co., Ltd.,  
Korla Xinjiang

Received: Mar. 13<sup>th</sup>, 2024; accepted: Apr. 17<sup>th</sup>, 2024; published: Apr. 23<sup>rd</sup>, 2024

## Abstract

With the continuous development of the economy and society, various new surveying and mapping equipment and technologies continue to emerge. New surveying and mapping technologies represented by unmanned aerial vehicle oblique photogrammetry have been widely applied in various industries. As an extremely important positional parameter in unmanned aerial vehicle

(UAV) oblique photogrammetry technology, image control points directly affect the geometric accuracy of the results. Therefore, the method of deploying image control points is particularly important. This article takes a certain area as the experimental area, designs 9 different layout schemes of image control points, and compares the accuracy of results under different schemes to verify the influence of the layout scheme and number of image control points on the accuracy of results. The results show that all 9 layout schemes of image control points can meet the accuracy requirements. As the number of image control points increases, the accuracy of the results of the real scene model tends to stabilize. However, when the number of image control points increases to a certain amount, the improvement in the accuracy of the results of the real scene model is no longer significant.

## Keywords

Unmanned Aerial Vehicle (UAV), Oblique Photogrammetry, Layout of Image Control Points, Realistic 3D Model, Precision Analysis

Copyright © 2024 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

## 1. 引言

当前,经济建设发展迅速,各行业作业规范要求越来越高,尤其是在建设用地领域,对于成果的要求越来越高[1]。传统的勘测定界方法虽然精度高,但是成果类型较为单一且现势性不高,随着测绘软硬件设备的发展与更新,将测绘新技术应用于勘测定界中成为了可能[2]。基于对地观测影像能够生成反映空间场景特征的实景三维模型,实景三维模型具有精度高、特征细、真实度高的特征,实景三维模型制作的关键在于空间解算与纹理映射,国内外不少科研单位与公司对此进行了大量研究,并取得了积极的成果,大大提升了模型自动构建的效率。随着无人机硬件设备的迅速发展,出现以无人机为平台的倾斜摄影测量技术,无人机具有成本低、效率高、简单便于操作等优势,成为了倾斜摄影测量的主要平台。倾斜摄影测量技术的推广已经在新型基础测绘、电力选线等领域中发挥了重要作用,为相关领域的研究与应用做出了积极的贡献[3] [4]。由此可见,基于倾斜摄影测量技术的土地勘测定界的工作是可行的,通过对外业采集数据进行处理,得到实景三维模型,并在模型中开展勘测定界点、线数据的采集,相较于传统勘测定界作业方式,具备低成本、高精度、高现势性等优势[5] [6] [7]。

像控点在无人机倾斜摄影测量中极为关键,通过对影像数据进行位置纠正,研究像控点布设方式与数量对于提升无人机倾斜摄影测量作业效率、降低外业工作成本意义重大。同样,将无人机倾斜摄影测量技术应用于勘测定界中,关键在于像控点的布设方案与数量,目前尚无统一论,因此,针对此问题开展研究对于保障无人机倾斜摄影测量技术在勘测定界项目中的有效利用具有积极作用。为此,本文将某地勘测定界区域作为实验区,通过设计不同像控点布设方案,对比不同方案下的实景三维模型成果精度,以确定像控点布设方案最优设计。

## 2. 研究数据

### 2.1. 研究区域

本文研究区域面积约为 0.4 km<sup>2</sup>, 位于某地, 研究区内视野较为开阔, 无明显遮挡物, 便于开展无人

机倾斜摄影测量像控点布设实验。

## 2.2. 倾斜摄影测量系统及数据获取

外业数据获取依靠大疆 M300 为平台, 搭载五镜头倾斜相机模组 PSDK102S。该无人机搭载双电池总容量超过 10,000 mAh, 保证了半小时的飞行时间。飞机挂载重量可达 15 kg, 充分保证了相机模组正常工作。内置的 POS 系统可提供三维精度优于 0.1 m 的定位结果, 实时为像片提供的外方位元素。试验区像控点测量采用当地城市 CORS 系统, 可提供图根级精度的点位测量[8] [9] [10]。

## 2.3. 航摄参数

实验区影像数据采集过程中, 飞行及仪器参数设置包括: 根据相对航高计算公式计算的测区航高为 80 m, 旁向重叠度为 70%, 航向重叠度为 85%, 根据航线规划系统估计的飞行时间共计 5 架次完成飞行任务。

## 3. 像控点布设方案及建模

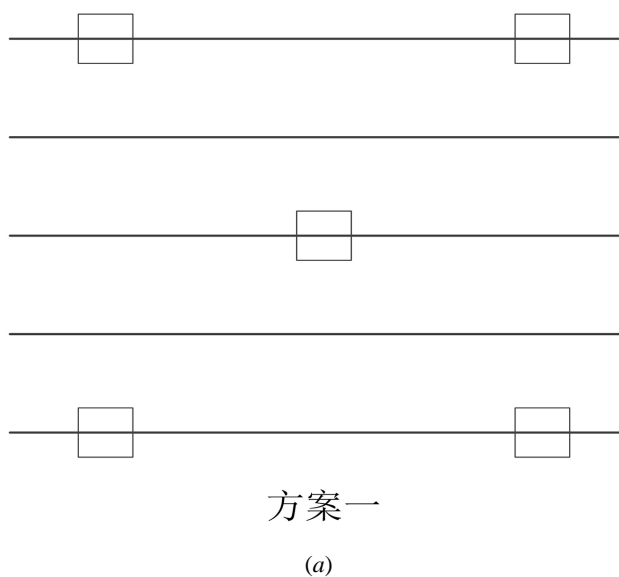
像控点位置选择及坐标测量精度将直接影响影像空三加密与模型成果精度, 常见的像控点布设方案包括全野外布点、非全野外布点、特殊情况下的布点方案总计 3 种。

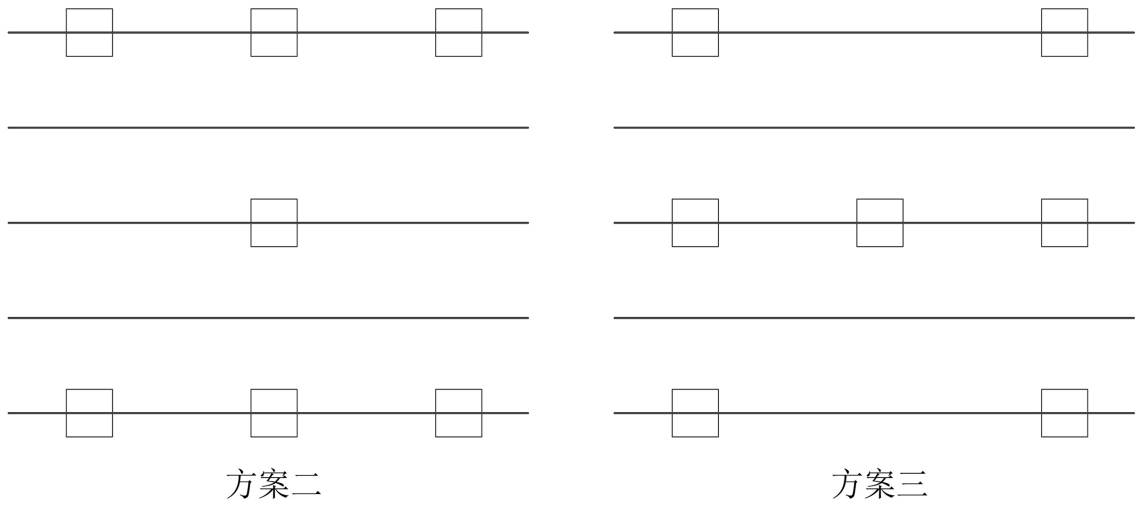
### 3.1. 像控点的选点

像控点的合理选择影响了像片空三加密精度与模型成果精度, 在实地选择时优先考虑清晰、颜色差异较大的角点。高差较大的地物、坡度较缓的地形均不能成为像控点的最优选择, 这是因为会增加刺点的系统误差。为此可考虑布设直角标识, 或在硬化地面上喷绘直角符号, 又或者利用道路上面的交通标识符号来作为像控点。同时还需考虑不能有遮挡或者阴影的存在, 避免人为干扰或者破坏。

### 3.2. 像控点布设方案

像控点在野外布设基本原则是点位置不能全都近似一个高程面或者一条直线上[8], 文中综合考虑测区地形情况设计了九种方案, 如图 1 所示。

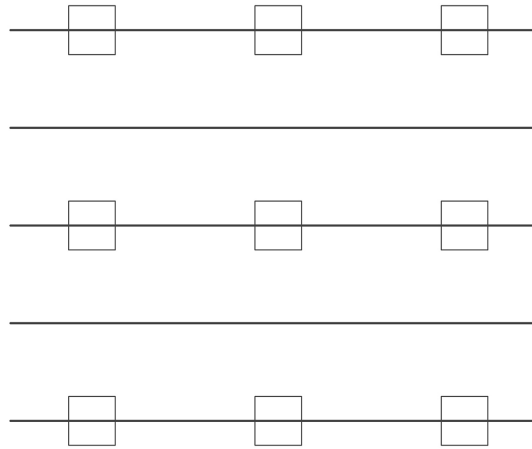




方案二

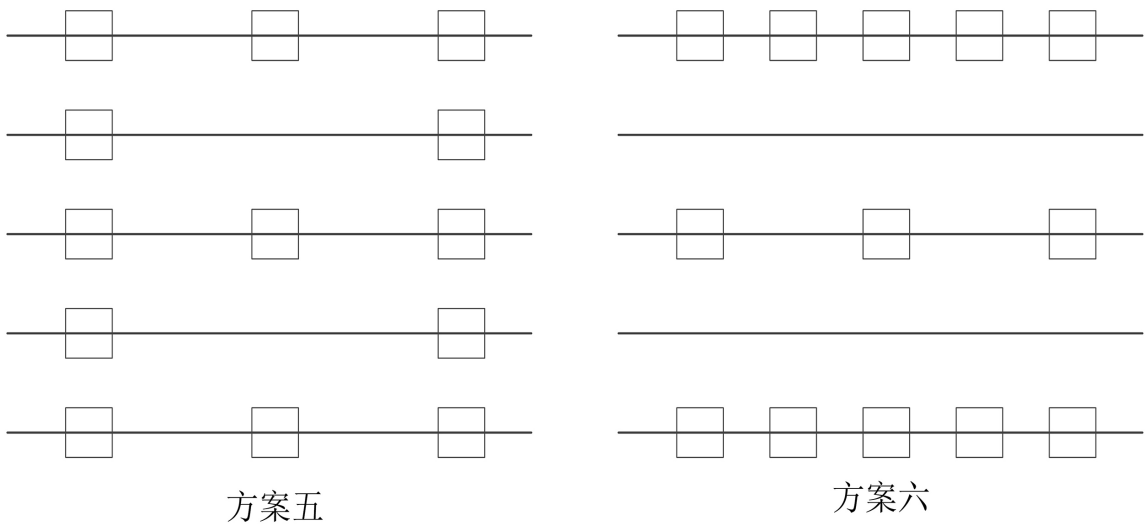
方案三

(b)



方案四

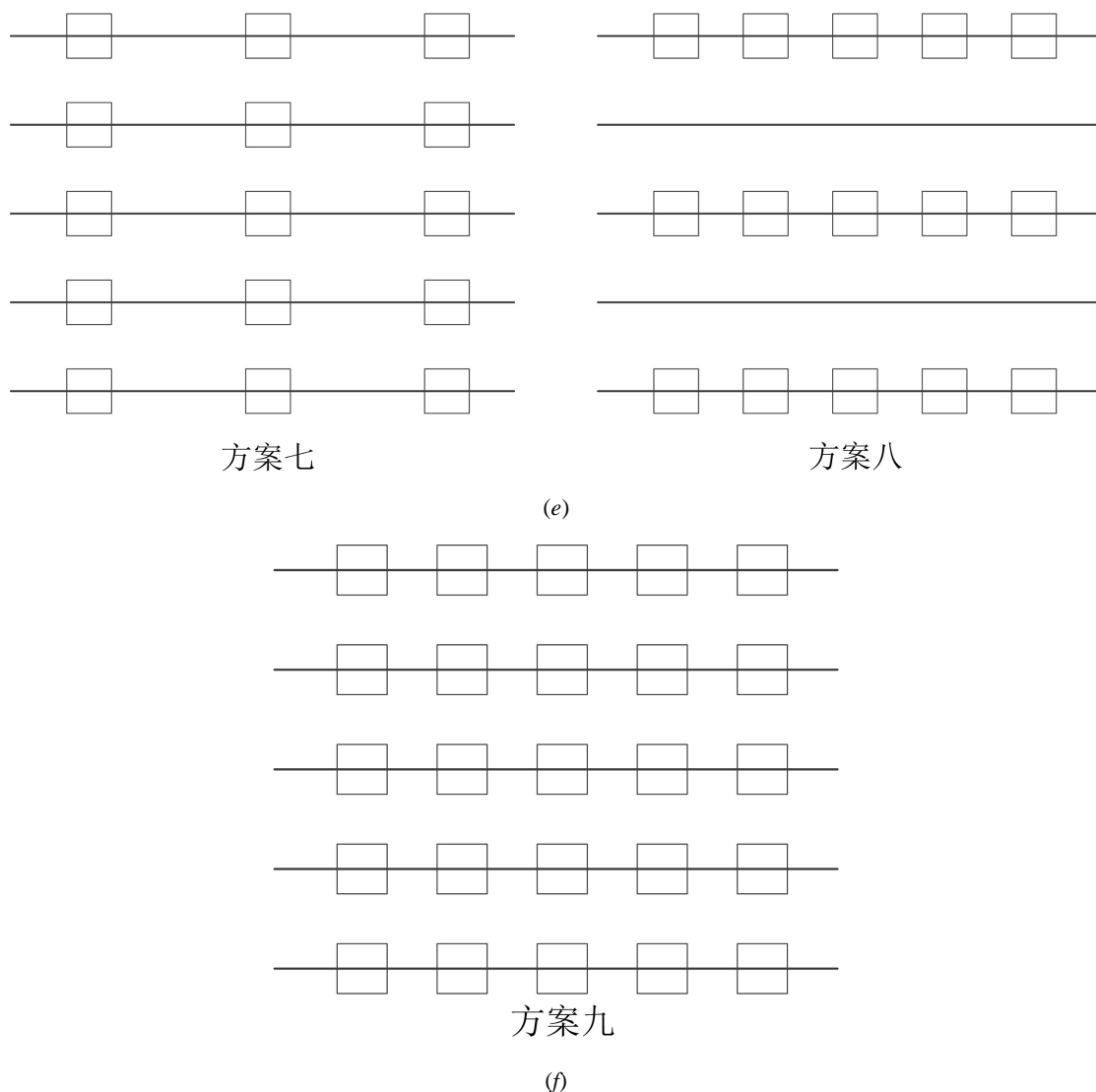
(c)



方案五

方案六

(d)



**Figure 1.** Image control point layout plan; (a) Five point method; (b) Seven point method; (c) Nine point method; (d) Thirteen point method; (e) Fifteen point method; (f) Twenty-five point method

**图 1.** 像控点布设方案; (a) 五点法; (b) 七点法; (c) 九点法; (d) 十三点法; (e) 十五点法; (f) 二十五点法

- 1) 五点法。在测区内选取 5 个像控点，布设在测区中心区域与测区四周。
- 2) 七点法。如图 1(b)所示，在五点法的基础上，增加 2 个像控点，一种是沿航线方向加点，另一种是垂直航线方向加点。
- 3) 九点法。如图 1(c)所示，在五点法的基础上，增加 4 个像控点，其中沿航向、垂直航向方向各 2 个。
- 4) 十三点法。如图 1(d)所示，在九点法的基础上，增加 4 个点，沿航向、垂直航向方向各 2 个。
- 5) 十五点法。如图 1(e)所示，在九点法的基础上，增加 6 个像控点，一种是沿航线方向加点，另一种是垂直航线方向加点。
- 6) 二十五点法。如图 1(f)所示，在九点法的基础上，增加 16 个像控点，沿航向、垂直航向方向各 8 个。

### 3.3. 实景三维建模

针对原始影像照片进行预处理工作，删除质量较差的图像。增强照片的曝光时间保证充足的进光量。

建模工具选择 Context Capture 三维建模软件，合格空三之后选择像控点刺点工作，纹理映射贴膜生成实景三维模型，模型效果如图 2 所示。生成的模型检查中并未出现“空洞”、“拉花”等现象，完全符合后续工作的需求。



(a) 整体效果



(b) 局部效果

Figure 2. Realistic 3D model effect of the measurement area

图 2. 测区实景三维模型效果

#### 4. 实景模型精度分析

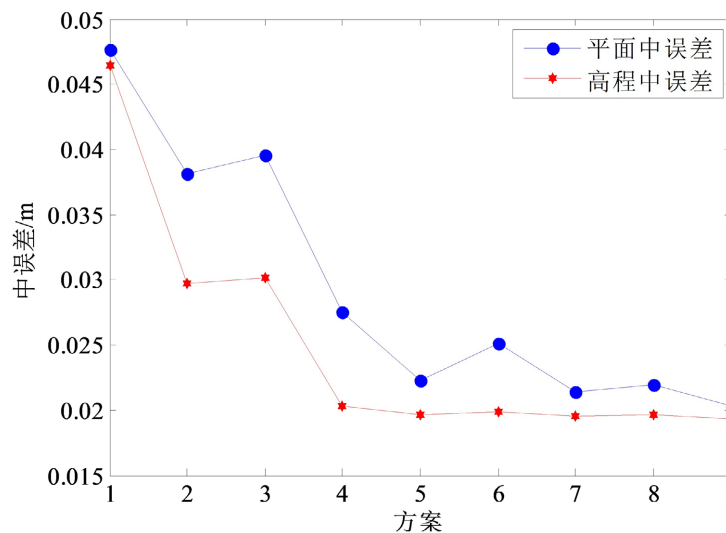
根据 9 种不同的像控点布设方案进行空三加密解算与实景模型构建，对于实景模型使用相同的检查点、检查线进行精度检查。

#### 4.1. 点位精度分析

在生成的实景三维模型测区中，布设 8 个检核点。检核点施测方式与像控点一致，并且将 8 个检核点均匀布设在测区中，保证每平方公里范围内均有检核点。比较分析了不同像控点布设方案生成的实景三维模型精度，通过采集模型中检核点的同名坐标。不同方案像控点统计精度如表格 1 所示，模型成果精度如图 3 所示。

**Table 1.** Realistic model plane and mean square error  
**表 1.** 实景模型平面与中误差

方案编号	像控点数量/个	平面中误差	高程中误差
方案一	5	0.0477	0.0465
方案二	7	0.0381	0.0297
方案三	7	0.0396	0.0302
方案四	9	0.0275	0.0203
方案五	13	0.0223	0.0197
方案六	13	0.0251	0.0199
方案七	15	0.0214	0.0195
方案八	15	0.0219	0.0196
方案九	25	0.0203	0.0193



**Figure 3.** Mean squared error curves of the plane and elevation of the real-life model  
**图 3.** 实景模型平面、高程中误差曲线

通过表 1 可知，所有方案下的模型成果平面中误差最小值、最大值分别为 0.0203 m、0.0477 m。规范中规定界址点一级测量平面点位中误差数值为 0.05 m [9]，由此可知文中设计的九种像控点布设方案生成的实景三维模型均能满足平面精度要求。九种方案下的实景三维模型成果高程中误差最小值为 0.0193 m、最大值为 0.0465 m，相关规范中明确规定大比例尺模型成图高程精度中误差均要小于 0.5 m。结果证明了九种像控点布设方案生成的三维模型高程精度满足规范要求。综上所述总结的几点结论有：

- 1) 方案二与方案三、方案五与方案六、方案七与方案八像控点数量相同，但不同方向像控点个数不

一样，当平行于航线方向像控点数量多时，模型成果精度更高，因此，方像控点数量相同时，模型精度与像控点布设方向有一定关系；

2) 方案二、方案三与方案一相比增加了两个像控点，其中方案二较方案一构建实景模型的平面精度提高了 0.0096 m，高程精度提高了 0.0168 m；方案三较方案一构建的实景模型，在平面与高程上的精度分别提升了 0.0081 m、0.0163 m，因此可知高程精度改善效果优于平面。

3) 由图 3 中误差曲线走势可知，布设像控点的数量增加，三维模型精度逐渐提高并趋于稳定；继续增加数量，并不能大幅度提高模型精度。

## 4.2. 测线精度分析

对实景三维模型中的道路以及建筑物等几何结构进行评价对于权属界线、土地利用现状等测量工作尤为重要，通过边长精度可评价几何结构，同时只有测线精度满足要求时，才可将实景模型应用于勘测定界中。本文通过在实景模型中测量 4 条具有代表性的长边值与实地测量长边值进行对比得到测线精度，测线精度表示为：

$$\delta = \frac{|L - \mu|}{\mu} \times 100\% \quad (1)$$

式(1)中， $\delta$  为测线精度； $L$  为模型测量值； $\mu$  为真实值。

统计模型边长量测值与真实值，如表 2 所示，相对误差如表 3 所示。

**Table 2.** Comparison between real edge length values and model measurements

**表 2.** 真实边长值与模型量测值对比

边序号	真实长度	方案一 长度	方案二 长度	方案三 长度	方案四 长度	方案五 长度	方案六 长度	方案七 长度	方案八 长度	方案九 长度
L1	53.98	53.88	53.90	53.91	53.90	53.91	53.93	53.96	53.97	53.97
L2	73.56	73.45	73.46	73.47	73.48	73.55	73.59	73.53	73.54	73.55
L3	82.39	82.27	82.30	82.29	82.31	82.34	82.32	82.36	82.35	82.37
L4	98.26	98.15	98.18	98.17	98.22	98.24	98.24	98.27	98.25	98.26

**Table 3.** Relative error of side lengths

**表 3.** 边长相对误差

边序号	真实长度	方案一 长度	方案二 长度	方案三 长度	方案四 长度	方案五 长度	方案六 长度	方案七 长度	方案八 长度	方案九 长度
L1	0.1853	0.1482	0.1297	0.1482	0.1297	0.0926	0.0371	0.0185	0.0185	0.1853
L2	0.1495	0.1359	0.1223	0.1088	0.0136	0.0408	0.0408	0.0272	0.0136	0.1495
L3	0.1456	0.1092	0.1214	0.0971	0.0607	0.0850	0.0364	0.0485	0.0243	0.1456
L4	0.1119	0.0814	0.0916	0.0407	0.0204	0.0204	0.0102	0.0102	0.0000	0.1119

通过计算得知，9 种方案的边长平均相对精度分别为 0.1481%、0.1187%、0.1162%、0.0987%、0.0561%、0.0597%、0.0311%、0.0261%、0.0141%。边长的相对精度均控制在 0.15% 以内，可用于勘测定界工作中。

## 5. 结束语

目前，消费级无人机的普及推动了实景三位模型的应用增加，借助于模型的大比例尺地形图、地籍



图矢量化与编辑等工作增多。为提高三维模型在各领域中的使用效率，文中设计了常见的九种像控点布设方案，并比较不同方案下的三维模型精度，总结了以下几点结论：

1) 模型成果精度会随像控点数量增加而有所增加，当像控点布设数量从 5 个增加到 25 个时，模型中平面精度中误差从 0.0477 m 降到了 0.0203 m，高程方向精度中误差从 0.0465 m 降到了 0.0193 m。但是像控点数量增加到一定时，测线中误差与平面、高程精度提高不显著；

2) 文中比较分析了当像控点数量一致时，点位分布方向对实景三维模型精度的影响。其中垂直于航线方向布设的像控点略差于平行于航线方向像控点，由此可总结出在生产项目中可优先考虑平行于航线方向的像控点的结论。

## 参考文献

- [1] 周诗洋, 吴向阳. 像控点布设对勘测定界复杂区域实景建模精度的影响[J]. 测绘通报, 2022(2): 1-4+15.
- [2] 武坚, 王佑武, 刘建成, 宋宁, 等. 单 Geo Eye-1 影像对的高原区域像控点布设与定位精度探讨[J]. 测绘, 2020, 43(5): 220-222.
- [3] 闻彩焕, 王文栋, 王晓东. 实景三维模型空间信息采集像控点布设分析[J]. 测绘通报, 2021(S1): 1-5.
- [4] 贾雨欣, 李剑南, 张磊, 等. 复杂地形区像控点布设对低空无人机遥感成图的精度影响研究[J]. 北京测绘, 2020, 34(7): 890-894.
- [5] 吴波, 李俊, 蒋大鹏, 等. 针对地质灾害隐患点的无人机航摄像控点布点方案[J]. 测绘通报, 2020(6): 125-127+140.
- [6] 曹裕超, 王健, 徐福斌, 等. 缺少特征场景下提高摄影测量空三精度的方法[J]. 北京测绘, 2021, 35(10): 1307-1311.
- [7] 王伟丽, 许存玲, 蒙晓攀. 无人机数码影像外业像控点布点方案探讨[J]. 测绘标准化, 2020, 36(2): 27-29.
- [8] 周胜洁, 邸国辉, 李秉乾, 等. 基于无人机倾斜摄影的像控点布设对空三精度的影响[J]. 测绘与空间地理信息, 2021, 44(11): 23-26+30.
- [9] 桑文刚, 李娜, 韩峰, 等. 小区域消费级无人机倾斜摄影像控点布设及建模精度研究[J]. 测绘通报, 2019(10): 93-96.
- [10] 国家测绘地理信息局. 三维地理信息模型数据产品规范: CH/T 9015-2012 [S]. 北京: 测绘出版社, 2012.